

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000280057  
PUBLICATION DATE : 10-10-00

APPLICATION DATE : 30-03-99  
APPLICATION NUMBER : 11088584

APPLICANT : MAZDA MOTOR CORP;

INVENTOR : YAMAMOTO YUKIO;

INT.CL. : B22D 17/00 B21J 1/06 B22D 17/30 // C22C 1/02 C22C 23/02 C22F 1/00 C22F 1/06

TITLE : MANUFACTURE OF LIGHT METALLIC MEMBER

ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a light metallic alloy which has good creep resistance and excellent forgeability when the light metallic member is manufactured by semi-molten injection molding.

SOLUTION: A molten light metal is injected and filled in a molding cavity of a molding die under a semi-molten condition, so as to obtain a molding (a light metallic member). At that time, the molten light metal is set to have 5% or more of solid phase rate and 50  $\mu\text{m}$  or more of average solid phase diameter, and is injected into the molding die. Also, the molten light metal is set to have 60% or less of solid phase rate and 200  $\mu\text{m}$  or less of average solid phase diameter, so as to apply hot forging to the molding.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-280057  
(P2000-280057A)

(43) 公開日 平成12年10月10日 (2000. 10. 10)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup>            | 識別記号  | F I           | テームコード* (参考) |
|--------------------------------------|-------|---------------|--------------|
| B 2 2 D 17/00                        |       | B 2 2 D 17/00 | Z 4 E 0 8 7  |
| B 2 1 J 1/06                         |       | B 2 1 J 1/06  | A            |
| B 2 2 D 17/30                        |       | B 2 2 D 17/30 | Z            |
| // C 2 2 C 1/02                      | 5 0 1 | C 2 2 C 1/02  | 5 0 1 B      |
| 23/02                                |       | 23/02         |              |
| 審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁) 最終頁に続く |       |               |              |

|           |                          |          |   |
|-----------|--------------------------|----------|---|
| (21) 出願番号 | 特願平11-88584              | (71) 出願人 | 000003137<br>マツダ株式会社<br>広島県安芸郡府中町新地3番1号 |
| (22) 出願日  | 平成11年3月30日 (1999. 3. 30) | (72) 発明者 | 坂本 和夫<br>広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内       |
|           |                          | (72) 発明者 | 山本 幸男<br>広島県安芸郡府中町新地3番1号 マツダ株式会社内       |
|           |                          | (74) 代理人 | 100062144<br>弁理士 青山 葆 (外1名)             |
|           |                          | 最終頁に続く   |   |

(54) 【発明の名称】 軽金属部材の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 半熔融射出成形で軽金属部材を製造するに際して、耐クリープ特性が良好で、また、鍛造性に優れた軽金属部材を得る。

【解決手段】 軽金属溶湯を半熔融状態で成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品（軽金属部材）を得るに際して、上記軽金属溶湯を、固相率5%以上かつ平均固相径50 $\mu$ m以上に設定して、上記成形型内へ射出することを特徴とし、また、上記軽金属溶湯の固相率を60%以下かつ平均固相径を200 $\mu$ m以下に設定することを特徴とし、更に、上記成形品に熱間鍛造を施すことを特徴とする。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 軽金属溶湯を半熔融状態で成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品を得るようにした軽金属部材の製造方法であって、

上記軽金属溶湯を、固相率5%以上かつ平均固相径50 $\mu$ m以上に設定して、上記成形型内へ射出することを特徴とする軽金属部材の製造方法。

【請求項2】 上記軽金属溶湯の固相率を60%以下かつ平均固相径を200 $\mu$ m以下に設定することを特徴とする請求項1記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項3】 上記成形品に熱間鍛造を施すことを特徴とする請求項1または請求項2に記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項4】 上記軽金属として、2重量%以上で6重量%以下のアルミニウム及び0.5重量%以上で4重量%以下のカルシウムを含有するマグネシウム合金を用いることを特徴とする請求項1～請求項3のいずれか一に記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項5】 アルミニウム含有量に対するカルシウム含有量の比率が0.8以下のものを、100[mm/秒]以上の鍛造速度で熱間鍛造することを特徴とする請求項4記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項6】 上記熱間鍛造における鍛造温度が250℃～400℃の範囲であることを特徴とする請求項3～請求項5のいずれか一に記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項7】 上記熱間鍛造における鍛造率が10%以上であることを特徴とする請求項3～請求項6のいずれか一に記載の軽金属部材の製造方法。

【請求項8】 上記熱間鍛造で得られた鍛造部材に、100℃～250℃の温度範囲で5時間～50時間保持する熱処理を施すことを特徴とする請求項3～請求項7のいずれか一に記載の軽金属部材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、軽金属溶湯を半熔融状態で成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品を得るようにした軽金属部材の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】例えば、マグネシウム（以下、適宜、その元素記号Mgで表示する。）及びその合金あるいはアルミニウム（以下、適宜、その元素記号Alで表示する。）及びその合金などの軽金属を材料とした金属部材の製造方法として、金属溶湯を（基本的にはその融点未満の）半熔融状態で射出ノズルから成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品を得るようにした、いわゆる半熔融射出成形方法は、従来、公知である（例えば、特公平2-15620号公報参照）。

【0003】この半熔融射出成形法は、例えばダイキャスト法などの鑄造法に比した場合、作業環境面では比較的クリーン（清浄）で安全性もより高く、また、品質面

においても高精度で均質な軽金属成形品を得ることができプロセスとして知られている。また、溶湯温度（以下、完全に熔融した状態ではなく半熔融状態のものであっても「溶湯」と称する。）が低いので、所謂「バリ」が出にくく高速および／または高圧での射出にも適しており、生産性の向上を図る上でも有利である。

【0004】なお、本明細書において、射出されるべき原料の金属溶湯について「半熔融状態」とは、基本的には、「固体状態の原料（固相）と熔融して液体状態となった原料（液相）とが共存している状態」を言い、通常、原料をその融点未満に加熱することによって得られる状態である。但し、溶湯の温度が実質的にその融点もしくは融点直上で、固相率が実質的に0（零）%に等しい場合も、この「半熔融状態」に含まれるものとする。金属溶湯自体がこのような実質的に固相率0%の場合でも、現実の射出成形工程を考えれば、射出ノズルから型内への1回（1ショット）の射出が終わって次回（次ショット）の射出が行われるまでの間に、射出ノズルの溶湯供給経路内の金属溶湯が冷やされてノズル先端側に凝固部分（所謂、コールドプラグ）や固相率の高い高固相部分が生じるので、実際に成形キャビティ内に射出される溶湯には、不可避的に固相部分が含まれることになる。

【0005】また、本明細書において、「固相」とは「金属溶湯が半熔融状態である場合において熔融されずに固体状態を維持している部分」を言い、また、「液相」とは「完全に熔融されて液体状態となっている部分」を言う。上記「固相」は、射出後の成形品の凝固組織を観察することにより、「半熔融の金属溶湯状態で熔融されずに固体状態を維持していた部分」として、「半熔融の金属溶湯状態で完全に熔融されて液体状態となっていた」液相部分とは、容易に識別することができる。成形品について「固相」という場合は、「半熔融の金属溶湯状態で熔融されずに固体状態を維持していた（固相であった）部分」を言う。更に、本明細書において、「固相率」とは、「半熔融状態の金属溶湯において溶湯全体（固相＋液相）に対する固相の割合」を言い、射出後の成形品の凝固組織を観察することにより、観察領域全体に対する「固相」であった部分の割合（面積比率）として、数値的に求めることができる。

【0006】上記半熔融射出成形で軽金属部材を製造する場合、一般に、固相率を高くすることにより、ガス欠陥や引け巣等の不具合発生を抑制できることが知られている。しかしながら、このように固相率を高めるだけでは、上記のような不具合発生を抑制して部材全体としての強度向上を図ることができるものの、高温使用時における耐クリープ特性の改善を図ることは難しい。この点に関して、本願出願人は、特願平9-263893号において、ゲート断面積と成形キャビティの最大断面積との比が一定以上に設定された特定の条件下で、固相率、固相径を一定以上にして半熔融射出成形することによ

り、ガス欠陥の発生を抑えた上で耐クリープ特性の向上を図ることを提案した。しかし、この提案は、あくまでも、上記特定の条件下における成形を前提としたものであった。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】周知のように、上記Mg合金やAl合金等の軽合金は、現在多用されている鉄系金属材料に比して非常に軽量であるので、例えば一層の燃費向上が求められている自動車などにおいても、更なる軽量化を達成することなどを目的として、従来用いられていた鋼等の鉄系材料などに替えてその採用が拡大しつつある。特に、Mg合金の場合、Al若しくはAl合金よりも更に軽量であるので、これらに替えて、例えばホイールなどの材料としては既に実用に供されているのであるが、このMg合金等の軽合金を、温度的あるいは強度的により使用条件が厳しい例えば内燃機関（エンジン）周りの機構部品などの材料として適用することを考えた場合、常温での強度特性はもとより、例えば、150℃程度の高温においても一定以上（例えば220MPa以上）の高い引張強度や優れた耐クリープ特性が求められる。

【0008】上記のようなある程度の高温（例えば150℃程度）で一定以上（例えば220MPa以上）の高い引張強度や優れた耐クリープ特性などの機械的特性を確保することが求められる場合、鑄造や射出成形などの成形加工では所要の特性を安定して得ることは一般に難しく、加工時に緻密な材料組織が得られる塑性加工、特に、一定以上の鍛造率で鍛造することが最も好ましい。従って、Mg合金等の軽合金材料としては、上記のような機械的特性を得る上で、良好な鍛造性を確保する必要がある。

【0009】そこで、この発明は、半溶融射出成形で軽金属部材を製造するに際して、耐クリープ特性が良好で、また、鍛造性に優れた軽金属部材を得ることができる製造方法を提供することを目的としてなされたものである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、上記の技術的課題に鑑みて鋭意研究を重ねた結果、ゲート断面積と成形キャビティの最大断面積との比を一定以上に保つ特定の条件下でなくても、固相率と固相径とを一定以上あるいは一定範囲内に設定して半溶融射出成形することにより耐クリープ特性が向上すること、また、少なくともAl及びCaを含有したMg合金製の軽金属部材において、Ca量が一定以下（4重量%以下）の範囲においてはこのCa含有量が高いほど耐クリープ特性が向上すること、及びAl量が一定以下（6重量%以下）の範囲では耐クリープ特性が良好に維持されること、更に、Al量が一定以上（2重量%以上）の範囲では高温（150℃）で高い引張強度（220MPa以上）が確保でき

ること、また更に、Ca/Al比（Al含有量（重量）に対するCa含有量（重量）の比率）が一定以下（0.8以下）の範囲では所要の鍛造率を確保した上で高速鍛造における割れ発生率を極めて低く抑制できることを見出した。

【0011】そこで、本願の請求項1の発明（以下、第1の発明という）に係る軽金属部材の製造方法は、軽金属溶湯を半溶融状態で成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品を得るようにした軽金属部材の製造方法であって、上記軽金属溶湯を、固相率5%以上かつ平均固相径50μm以上に設定して、上記成形型内へ射出することを特徴としたものである。

【0012】ここに、固相率の下限値を5%、平均固相径の下限値を50μmとしたのは、固相率が5%未満または平均固相径が50μm未満では、得られた成形品（軽金属部材）の耐クリープ特性を有効に向上させることができないからである。尚、本明細書において、「平均固相径」とは、「半溶融状態の金属溶湯において溶融されずに固体状態を維持している部分の等価円の直径の平均値」を言う。この「平均固相径」は、射出後の成形品の凝固組織を観察することにより、「半溶融の金属溶湯状態で溶融されずに固体状態を維持していた部分の等価円の直径の平均値」として計測することができる。

【0013】また、本願の請求項2の発明（以下、第2の発明という）は、上記第1の発明において、上記軽金属溶湯の固相率を60%以下かつ平均固相径を200μm以下に設定することを特徴としたものである。

【0014】ここに、固相率の上限値を60%、平均固相径の上限値を200μmとしたのは、固相率が60%を越える又は平均固相径が200μmを越える場合には、軽金属溶湯の流動性が低すぎて射出成形が難しく、また、成形可能であってもサイクルタイムが非常に長くなるからである。

【0015】更に、本願の請求項3に係る発明（以下、第3の発明という）は、上記第1または第2の発明において、上記成形品に熱間鍛造を施すことを特徴としたものである。

【0016】また、更に、本願の請求項4に係る発明（以下、第4の発明という）は、上記第1～第3のいずれかの発明において、上記軽金属として、2重量%以上で6重量%以下のアルミニウム及び0.5重量%以上で4重量%以下のカルシウムを含有するマグネシウム合金を用いることを特徴としたものである。

【0017】ここに、Al含有量の下限値を2重量%としたのは、Al量がこの値を下回ると高温（150℃）で十分な引張強度（220MPa以上）を確保することが難しくなるからであり、また、Al含有量の上限値を6重量%としたのは、Al量がこの値を越えると耐クリープ特性が低下するからである。一方、Ca含有量の下限値を0.5重量%としたのは、Ca量がこの値を下回

ると耐クリープ特性が低下するからであり、また、Ca含有量の上限値を4重量%としたのは、Ca量がこの値を越えて増加しても耐クリープ特性向上の効果が飽和するからである。

【0018】また、更に、本願の請求項5に係る発明(以下、第5の発明という)は、上記第4の発明において、アルミニウム含有量に対するカルシウム含有量の比率(Ca/Al比)が0.8以下のものを、100[m m/秒]以上の鍛造速度で熱間鍛造することを特徴としたものである。

【0019】ここに、上記Ca/Al比を0.8以下としたのは、この範囲であれば、所要の鍛造率(50%)を確保した上で、高速鍛造においても割れ発生率を極めて低く抑えることができるからである。また、鍛造速度を100[mm/秒]以上としたのは、例えばエンジンの機構部品等の部品類を製造する際には、この程度の鍛造速度を確保して生産性を高めることが求められるからである。

【0020】また、更に、本願の請求項6に係る発明(以下、第6の発明という)は、上記第3～第5のいずれかの発明において、上記熱間鍛造における鍛造温度が250℃～400℃の範囲であることを特徴としたものである。

【0021】ここに、鍛造温度の下限値を250℃としたのは、鍛造温度がこの値以上であれば、良好な限界据え込み率(70%以上)を確保して、例えばエンジンのバルブリフタなど一定以上の高い強度を要する部材・部品等にも適用することが可能だからであり、また、鍛造温度の上限値を400℃としたのは、鍛造温度がこの値を越えると、鍛造温度の上昇による鍛造性向上効果が飽和し、しかも、酸化し易くなるからである。

【0022】また、更に、本願の請求項7に係る発明(以下、第7の発明という)は、上記第3～第6の発明のいずれかにおいて、上記熱間鍛造における鍛造率が10%以上であることを特徴としたものである。

【0023】ここに、上記鍛造率を10%以上としたのは、鍛造率がこの値を下回ると、実用上、鍛造前の素材内部の微視的な欠陥を潰して素材を鍛錬する効果を得ることが難しいからである。

【0024】また、更に、本願の請求項8に係る発明(以下、第8の発明という)は、上記第3～第7の発明のいずれかにおいて、上記熱間鍛造で得られた鍛造部材に、100℃～250℃の温度範囲で5時間～50時間保持する熱処理を施すことを特徴としたものである。

【0025】ここに、熱処理温度の下限値を100℃としたのは、それ未満では、熱処理による強度向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度の上限値を250℃としたのは、それより高いと、熱処理による強度向上効果は飽和するからである。一方、熱処理温度保持時間の下限値を5時間としたのは、それ未満では、熱処理に

よる強度向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度保持時間の上限値を50時間としたのは、それより長時間熱処理しても、強度向上効果は飽和するからである。

【0026】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。図1は、本実施の形態に係る軽金属部材の射出成形を行う射出成形機の概略構成を示す部分断面説明図である。この図に示すように、上記射出成形機1は、所謂スクリー式のもので、先端部にノズル3を有し外周に配置されたヒータ4で加熱されるシリンダ2と、該シリンダ2及びそれに接続された成形機本体5で回転可能に支持されたスクリー6と、例えばモータ機構および減速機構等を備えスクリー6を回転駆動する回転駆動装置7と、原料が投入され貯えられるホッパ8と、ホッパ8内の原料を計量して成形機本体5内に送給するフィーダ9とを備えている。また、上記成形機本体5内には、具体的には図示しなかったが、スクリー6をノズル3側に前進させる高速射出機構が設けられている。この高速射出機構は、所定のタイミングでスクリー6を前進させるとともに、該スクリー6が予め設定された距離だけ後退するとそれを検知してスクリー6の回転を停止させ、同時にその後退動作も停止させるように構成されている。

【0027】上記射出成形機1は、ノズル3の内部通路と成形キャビティ11に繋がるランナ部12とが連通するように位置設定された上で、シリンダ2の先端側を金型10に結合して用いられる。上記ホッパ8に投入されてその内部に貯えられた原料は、フィーダ9で所定量が計量されて成形機本体5内に供給され、スクリー6の回転によって加熱状態のシリンダ2内に送給される。送給された原料は、このシリンダ2の内部でスクリー6の回転により十分に攪拌・混練されながら所定温度に加熱される。本実施の形態では、かかるプロセスによって(基本的には原料の融点未満の)半溶融状態の金属溶湯を得るようにした。

【0028】このようにして得られた半溶融状態の金属溶湯がスクリー6の前方に押し出されるに連れて、その圧力で該スクリー6が後退して行く。尚、他の手法として、スクリーを所望の速度で強制的に後退させるようにしても良い。スクリー6が予め設定された距離だけ後退すると、成形機本体5内の上記高速射出機構(不図示)がそれを検知してスクリー6の回転を停止させ、同時にその後退動作も停止させる。尚、原料の計量を、スクリー6の後退距離を設定することによって行うようにしても良い。

【0029】そして、回転が停止し後退位置にあるスクリー6を、高速射出機構(不図示)によって前進させ所定の力で押し出すことより、ノズル3から金型10内に半溶融状態の金属溶湯が射出される。つまり、ノズル

3からランナ部12を介して成形キャビティ11内に金属溶湯が射出充填されるようになっている。本実施の形態では、原料として軽金属の一種であるマグネシウム(Mg)合金を用い、これを例えば切り粉状のペレットの形態で射出成形機1のホッパ8に供給するようにした。上記ホッパ8から成形機本体5内に通じる通路には、より好ましくは不活性ガス(例えばアルゴンガス)が充填され、原料(Mg合金ペレット)の酸化反応の防止が図られている。

【0030】また、本実施の形態では、半溶融射出成形法により軽金属部材を成形するに際して、得られた成形品(軽金属部材)の耐クリープ特性を向上させること、

また、その鍛造性を高めることなどを基本的な目的として、種々の試験を行った。まず、軽金属溶湯の固相率及び平均固相径が成形品の耐クリープ特性に及ぼす影響を調べる試験について説明する。この試験は、JIS H

2222に規定されたマグネシウム合金MD1(AS TM AZ91に相当)のうち、下記表1に示すMD1Dを原材料に用いて行った。尚、これら3種のMD1合金(A、B及びD)は、機械的特性は互いに同等で、耐食性が相違するものである。

【0031】

【表1】

(単位：重量%)

| 記号   | Al          | Zn           | Mn         | Si         | Cu          | Ni          | Fe          | Mg |
|------|-------------|--------------|------------|------------|-------------|-------------|-------------|----|
| MD1A | 8.3<br>～9.7 | 0.35<br>～1.0 | 0.15<br>以上 | 0.50<br>以下 | 0.10<br>以下  | 0.03<br>以下  | —           | 残部 |
| MD1B | 8.3<br>～9.7 | 0.35<br>～1.0 | 0.15<br>以上 | 0.50<br>以下 | 0.35<br>以下  | 0.03<br>以下  | —           | 残部 |
| MD1D | 8.3<br>～9.7 | 0.35<br>～1.0 | 0.15<br>以上 | 0.10<br>以下 | 0.030<br>以下 | 0.002<br>以下 | 0.005<br>以下 | 残部 |

【0032】上記マグネシウム合金MD1Dの溶湯を半溶融状態とし、固相率および平均固相径を種々変更して射出成形を行い、得られた成形品をそれぞれ供試材として試験片を切出し、各々定常クリープ歪速度を調べるクリープ試験を行った。図2は固相率が定常クリープ歪速度に及ぼす影響を表し、図3は、平均固相径が定常クリープ歪速度に及ぼす影響を表している。図2のグラフの試験では固相径を50[μm]に、また、図3のグラフの試験では固相率を25[%]に、それぞれ設定した。また、両クリープ試験において、試験温度及び荷重条件は、以下の通りとした。

・試験温度：125℃

・荷重条件：50MPa

【0033】図2のグラフから良く分かるように、全体として固相率が高いほど定常クリープ歪速度は低下するが、固相率が5%よりも若干低いポイント変極点とし、この変極点を境にして定常クリープ歪速度が大きく変化している。つまり、この変極点よりも固相率が高い場合には、それよりも低い場合に比べて、定常クリープ歪速度が大幅に低下している。すなわち、固相率を5%以上に設定することにより、耐クリープ特性を大幅に向上させることができることが分かった。また、図3のグラフから良く分かるように、全体として平均固相径が高いほど定常クリープ歪速度は低下するが、平均固相径が50μmよりも若干低いポイント変極点とし、やはり、この変極点を境にして定常クリープ歪速度が大きく変化している。つまり、この変極点よりも平均固相径が高い場合には、それよりも低い場合に比べて、定常クリープ歪速度が大幅に低下している。すなわち、平均固相径を50μm以上に設定することにより、耐クリープ特性を大幅に向上させることができることが分かった。

【0034】以上より、溶湯を固相率5%以上かつ平均固相径50μm以上の半溶融状態として射出成形を行うことにより、得られた成形品(軽金属部材)の耐クリープ特性を有効に向上させることができることが確認された。尚、溶湯の固相率が60%を越える場合または平均固相径が200μmを越える場合には、軽金属溶湯の流動性が低すぎて射出成形が難しく、また、成形可能であってもサイクルタイムが非常に長くなり実用的でないことが知られている。従って、本試験においては、上記溶湯の固相率が60%を越えず、かつ、平均固相径が200μmを越えない範囲内(より具体的には、固相率が40%以下、かつ、平均固相径が80μm以下の範囲内)で、これらの値を変化させて行った。

【0035】次に、半溶融射出成形法で成形した成形品(軽金属部材)の鍛造性を高め、より健全な部材を得ることなどを基本的な目的として行った種々の試験について説明する。図12～図14は、半溶融射出成形で得られたマグネシウム合金の成形品を素材として用い鍛造部材のサンプルを得る方法を模式的に示したものである。本実施の形態では、図12に示すように、縦A1×横B1×長さL1の直方体状のマグネシウム合金製素材M1を用意し、図13に示すように、この素材Mの例えば横方向を一对の固定プレートP1で挟んで拘束し、この状態で縦方向(図13における紙面方向)に圧縮荷重を加えて塑性加工(鍛造)を行い、鍛造部材のサンプルを作成した。

【0036】この結果、素材M1の縦方向寸法は、初期のA1からA2に変化し(短くなり)、また、長さは初期のL1からL2に変化する(長くなる)。この場合、この鍛造による鍛造率は次式①で算出される。

鍛造率=(A1-A2)/A1×100[%]…①

尚、本実施の形態では、マグネシウム合金素材M1の初期(図12参照)の基本寸法を、例えば、 $A1=A2=12$  [mm]、 $L1=50$  [mm]とした。このようにして得られた鍛造部材サンプルをそれぞれ供試材とし、これら供試材から各種試験に適用した寸法・形状の試験片を切り出して作成し、以下に述べるような各種の試験を行った。

【0037】表2は、本実施の形態に係るマグネシウム合金鍛造素材の特性を調べるための各種試験に用いた試料(本発明実施例1〜6及び比較例1〜4)の化学成分

各試料合金の化学組成及びCa/A1比

およびCa/A1比(アルミニウム含有量に対するカルシウム含有量の比率)を示している。つまり、表2に示した各試料(鍛造素材)を用いてそれぞれ鍛造部材のサンプルを製作し、以下に述べるような各種試験に供した。尚、表2において、各数値は重量%を示しており、また、A1(アルミニウム)、Ca(カルシウム)、Mn(マンガン)、Si(珪素)及びその他(不純物)以外の残部は、Mg(マグネシウム)である。

【0038】

【表2】

(単位:重量%)

|      | A1  | Ca  | Mn   | Si   | その他   | Ca/A1 |
|------|-----|-----|------|------|-------|-------|
| 実施例1 | 2.9 | 2.8 | 0.34 | 0.24 | ≤0.01 | 0.97  |
| 実施例2 | 3.9 | 0.5 | 0.34 | 0.18 | ≤0.01 | 0.13  |
| 実施例3 | 4.0 | 2.2 | 0.30 | 0.14 | ≤0.01 | 0.55  |
| 実施例4 | 4.1 | 3.2 | 0.35 | 0.13 | ≤0.01 | 0.78  |
| 実施例5 | 4.1 | 4.0 | 0.31 | 0.15 | ≤0.01 | 0.98  |
| 実施例6 | 6.1 | 3.2 | 0.31 | 0.13 | ≤0.01 | 0.52  |
| 実施例7 | 2.1 | 3.2 | 0.32 | 0.10 | ≤0.01 | 1.52  |
| 比較例1 | 3.9 | —   | 0.30 | 0.18 | ≤0.01 | 0.00  |
| 比較例2 | 4.0 | 5.1 | 0.30 | 0.21 | ≤0.01 | 1.28  |
| 比較例3 | 6.9 | 2.9 | 0.31 | 0.18 | ≤0.01 | 0.42  |

残部:Mg

【0039】まず、主要な添加元素であるA1(アルミニウム)、Ca(カルシウム)の含有量が鍛造部材の高温での機械的性質に及ぼす影響を調べる試験を行った。図4および図5は、Ca含有量およびA1含有量が鍛造部材の定常クリープ速度に及ぼす影響を調べた試験結果をそれぞれ示している。尚、これらクリープ試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・試験温度:150℃
- ・荷重条件:100MPa
- ・供試材の鍛造率:50%

【0040】図4の試験結果に示されるように、定常クリープ速度は、Ca量が0.5重量%(本発明実施例2)から4重量%(本発明実施例5)の範囲では、Ca量が増加するに連れて低下しており、この範囲ではCa含有量の増加に伴って耐クリープ特性が向上することが分かった。一方、Ca量が4重量%を越えると(比較例2)、定常クリープ速度は略一定となっており、Ca含有量の増加による耐クリープ特性向上の効果がこの値(4重量%)を超えると飽和することが分かった。尚、

Caを全く含まない比較例1の場合には、クリープ速度が定常状態に至らず、試験開始後10[hr](時間)で試験片が破断しており、対クリープ特性が著しく劣っていることが分かった。

【0041】また、図5の試験結果から良く分かるように、定常クリープ速度は、A1量が6重量%(本発明実施例6)以下の範囲では略一定の低い値に維持されるが、A1量がこの値を超えると急速に上昇している。すなわち、A1含有量を6重量%以下とすることにより、良好な耐クリープ特性が得られることが分かった。

【0042】図6は、高温での引張強度に及ぼすA1含有量の影響を示している。この高温引張試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・試験温度:150℃
- ・供試材の鍛造率:50%

【0043】この図6の試験結果から良く分かるように、高温での引張強度はA1量が3重量%(本発明実施例1)以上の範囲では略一定の高い値に維持され、A1量がこの値を下回って2重量%(本発明実施例7)にな



ると若干の低下傾向を示すようになるが、依然として高い値(220MPa以上)を保っている。すなわち、Al含有量が2重量%以上であれば、高温(150℃)でも十分な引張強度を確保することができ、更に、より好ましくは、3重量%以上であれば、より高い引張強度をより安定して維持できることが分かった。

【0044】この高温引張強度としては、鍛造部材を例えばエンジンの機構部品(例えばバルブリフタ)など、150℃程度の高温雰囲気下で一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、実用上、少なくとも220MPa以上を確保することが好ましい。図6の高温引張試験で用いた各試料の場合には、いずれも、150℃の高温雰囲気下で220MPa以上の引張強度を確保することができ、上記のような一定以上の高い強度を要する部材・部品等に対しても十分に適用することができる。

【0045】次に、Ca/Al比がMg合金鍛造素材の鍛造性に及ぼす影響を調べる試験を行った。図7は、高速鍛造を行った場合における割れ発生率に及ぼすCa/Al比の影響を示している。尚、本明細書中において、「高速鍛造」とは、略100[mm/秒]以上の鍛造速度で行う鍛造を言うものとする。例えばエンジンの機構部品等の部品類などの量産品を製造する際には、高い生産性を得る観点から、この程度(略100[mm/秒])以上の鍛造速度を確保することが好ましい。上記図7の高速鍛造試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・鍛造温度：350℃
- ・鍛造速度：400[mm/秒]
- ・鍛造率：10%，25%，50%の3種類

【0046】図7の試験結果から良く分かるように、Ca/Al比が0.8(本発明実施例4)以下の範囲では、鍛造率の如何に拘わらず、割れ発生率は最高でも0.1%以下と極めて低い値に抑制することができる。一方、Ca/Al比が0.8を越えると(本発明実施例5)、鍛造率が25%及び50%のものについては割れ発生率が急速に高くなる。しかし、鍛造率が10%のものについては、Ca/Al比が0.8以下の場合と同じく、割れの発生は全く認められなかった。以上より、実用性は比較的低いものの鍛造率が10%であれば、Ca/Al比の如何に拘わらず高速鍛造においても割れは発生せず、また、鍛造率が25%以上(25%及び50%)の場合には、Ca/Al比を0.8以下とすることにより、高速鍛造における割れ発生率を極めて低く抑制して、十分な鍛造性を確保できることが分かった。

【0047】尚、上記の高速鍛造試験とは別に、略100[mm/秒]の低速での鍛造試験(鍛造温度：350℃)を行ったところ、鍛造率が10%の場合は勿論のこと、鍛造率が25%及び50%の場合でも、Ca/Al比の如何に拘わらず割れの発生は全く認められなかつ

た。すなわち、鍛造速度が低い場合には、鍛造率およびCa/Al比の如何に拘わらず割れ発生はなく、鍛造性に何ら問題が無いことが分かった。

【0048】次に、供試材の高温強度(引張強度)および鍛造性(限界据え込み率)に及ぼす熱処理の影響を調べる試験を行った。図8は、鍛造後の熱処理が高温引張強度に及ぼす影響を示している。この図8に示した高温引張試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・試験温度：150℃
- ・供試材の種類：本発明実施例4
- ・供試材の鍛造率：50%
- ・供試材の熱処理条件：熱処理無し/鍛造後に150℃で30時間保持した後に空冷

【0049】この試験結果から良く分かるように、鍛造後に熱処理を施すことによって、熱処理を行わなかった場合に比べて、高温(150℃)での引張強度は大幅に高くなっており、鍛造後の熱処理による高温引張強度向上の効果を確認することができた。尚、この高温引張強度としては、上述のように、鍛造部材を例えばエンジンの機構部品(例えばバルブリフタ)など、150℃程度の高温雰囲気下で一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、実用上、少なくとも220MPa以上を確保することが好ましいが、図8の試験で示した本発明実施例4の試料の場合には、鍛造後の熱処理の有無に拘わらず、150℃の高温雰囲気下で220MPa以上の引張強度は十分に確保されており、上記のような高温雰囲気下で一定以上の高い強度を要する部材・部品等に対しても十分に適用できることが、改めて確認された。

【0050】上記の鍛造後の熱処理における加熱温度および保持時間としては、熱間鍛造で得られた鍛造部材に、100℃～250℃の温度範囲で5時間～50時間保持することが好ましい。この場合、熱処理温度の下限値を100℃としたのは、それ未満では、熱処理による強度向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度の上限値を250℃としたのは、それより高いと、熱処理による強度向上効果は飽和するからである。一方、熱処理温度保持時間の下限値を5時間としたのは、それ未満では、熱処理による強度向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度保持時間の上限値を50時間としたのは、それより長時間熱処理しても、強度向上効果は飽和するからである。

【0051】また、図9は、鍛造温度および鍛造前熱処理が鍛造時の限界据え込み率に及ぼす影響を示している。この図9に示した限界据え込み率試験の試験条件および供試材の設定条件は、以下の通りとした。

- ・供試材の種類：本発明実施例4
- ・供試材の熱処理条件：熱処理無し/鍛造前に410℃で16時間保持した後に空冷



【0052】ここに、限界据え込み率とは、図15に模式的に示すように、直径D×長さL3の円柱状の試験片M2を用意し、この試験片M2に対しその長手方向に圧縮荷重を加えて、図16に模式的に示すように試験片を圧縮変形（変形後の長さL4）させた場合に、当該試験

$$\text{限界据え込み率} = (L3 - L4) / L3 \times 100 [\%] \cdots \textcircled{2}$$

尚、本実施の形態では、上記試験片M2の初期（図15参照）の基本寸法を、D=16 [mm]、L3=24 [mm]とした。

【0053】図9の試験結果から良く分かるように、熱処理の有無に拘わらず、鍛造温度が略400℃以下の範囲では、鍛造温度が上昇するに連れて限界据え込み率は高くなっており、この範囲では、鍛造温度を高めることによる鍛造性向上の効果を確認することができた。一方、鍛造温度が400℃を越えると鍛造性向上の効果は飽和し、しかも、酸化し易くなる。従って、鍛造温度としては、400℃以下が好ましく、酸化防止の観点からは350℃以下であることがより好ましい。また、鍛造前に熱処理を施した場合には、熱処理を行わなかった場合に比べて、限界据え込み率が上昇しており、鍛造前の熱処理による限界据え込み率度向上の効果を確認することができた。

【0054】この限界据え込み率としては、一般に、実用上、少なくとも50%以上を確保することが好ましく、特に、鍛造部材を例えばエンジンの機構部品（例えばバルブリフト）などの一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、70%以上を確保することがより好ましい。本発明実施例4の試料の場合には、鍛造前に熱処理を施さなくても、250℃を下回る鍛造温度でも70%以上の限界据え込み率を確保することができ、上記のような一定以上の高い強度を要する部材・部品等に対しても十分に適用することができる。

【0055】上記の鍛造前の熱処理における加熱温度および保持時間としては、上記鍛造素材に、300℃～500℃の温度範囲で5時間～50時間保持する熱処理を施すことが好ましい。この場合、熱処理温度の下限値を300℃としたのは、それ未満では、熱処理による鍛造成形性の向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度の上限値を500℃としたのは、それより高くしても鍛造成形性の向上効果が飽和する上に、酸化や部分的な溶解の起こることが有り、メリットが無いからである。一方、熱処理温度保持時間の下限値を5時間としたのは、それ未満では、熱処理による鍛造成形性の向上効果が小さいからであり、また、熱処理温度保持時間の上限値を50時間としたのは、それより長時間熱処理しても鍛造成形性の向上効果は飽和するからである。

【0056】図10および図11は、鍛造率が鍛造後の比重および室温での引張強度に及ぼす影響をそれぞれ示している。尚、これらの試験では、供試材の種類として本発明実施例4の試料を用いた。図10の試験結果から

片にクラック（割れ）が発生する限界の据え込み率を言う。上記図15および図16の例で、初期長さL3の試験片M2を長さL4まで圧縮変形させたときに微小クラックが発生したとすると、この場合の限界据え込み率は、次式②で算出される。

良く分かるように、鍛造率が略25%以下の範囲では、鍛造率が高まるに連れて比重も高くなるが、鍛造率がこの値(25%)を越えると、鍛造率上昇による比重上昇の効果は飽和している。また、鍛造率10%未満では、鍛造前の素材内部の微視的な欠陥を潰して素材を鍛錬する効果が低いので、鍛造率としては、一般に、実用上、少なくとも10%以上を確保することが好ましく、特に、鍛造部材を例えばエンジンのバルブリフトなどの一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、20%以上を確保することがより好ましい。

【0057】また、図11の試験結果に示されるように、室温での引張強度は、鍛造率が上昇するに連れて高くなり、特に、鍛造率が略25%以下の範囲では、この値を越える範囲に比べて、鍛造率上昇による引張強度向上効果が高くなっている。鍛造部材を例えばエンジンのバルブリフトなどの一定以上の高い強度を要する部材・部品等に用いる場合には、常温で250MPa以上の引張強度を確保することが好ましく、このため、鍛造率としては20%以上を確保することが好ましい。

【0058】尚、本発明は、以上の実施態様に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において、種々の改良あるいは設計上の変更が可能であることは言うまでもない。

【0059】

【発明の効果】本願の第1の発明によれば、軽金属溶湯を半溶融状態で成形型の成形キャビティ内に射出充填して成形品を得るに際して、上記軽金属溶湯を、固相率5%以上かつ平均固相径50μm以上に設定して上記成形型内へ射出するようにしたので、得られた成形品（軽金属部材）の耐クリープ特性を有効に向上させることができる。

【0060】また、本願の第2の発明によれば、基本的には、上記第1の発明と同様の効果を奏することができる。特に、上記軽金属溶湯の固相率を60%以下かつ平均固相径を200μm以下に設定したので、成形サイクルタイムへの悪影響ひいては生産性の低下を招来することなく、半溶融射出成形を行うことができる。

【0061】更に、本願の第3の発明によれば、基本的には、上記第1または第2の発明と同様の効果を奏することができる。特に、上記成形品に熱間鍛造を施すようにしたので、射出成形時に軽金属部材内に生じたガス欠陥や引け巣等の欠陥を後工程の鍛造によって潰して部材の密度を高めることができ、これにより、健全な軽金属部材を得ることができる。

【0062】また、更に、本願の第4の発明によれば、基本的には、上記第1～第3の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、2重量%以上のAlを含有しているので、これを熱間鍛造することにより、高温(150℃)で十分な引張強度(220MPa以上)を確保することができ、また、0.5重量%以上のCaを含有し、かつ、Al含有量が6重量%以下であるので、良好な耐クリープ性を確保することができる。この場合において、Ca含有量は4重量%以下であるので、Ca量増加による耐クリープ特性向上の効果をj得る上で経済的である。

【0063】また、更に、本願の第5の発明によれば、基本的には、上記第4の発明と同様の効果を奏することができる。しかも、その上、Al含有量に対するCa含有量の比率(Ca/Al比)が0.8以下であるので、所要の鍛造率(50%)を確保した上で、高速鍛造においても割れ発生率を極めて低く抑えることができ、良好な鍛造性を得ることができ、また、100[mm/秒]以上の鍛造速度で熱間鍛造するので、例えば自動車用エンジンのバルブリフタなどの機構部品等の部品類を製造するに際して、十分に高い生産性を確保することができる。

【0064】また、更に、本願の第6の発明によれば、基本的には、上記第3～第5の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、上記熱間鍛造における鍛造温度が250℃～400℃の範囲であるので、良好な限界据え込み率(70%以上)を確保して、例えばエンジンのバルブリフタなど一定以上の高い強度を要する部材・部品等にも適用することができ、また、鍛造温度の上限値を400℃であるので、鍛造温度の上昇による鍛造性向上の効果をj得る上で経済的であり、しかも、高温酸化による悪影響の回避も図ることができる。

【0065】また、更に、本願の第7の発明によれば、基本的には、上記第3～第6の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、上記熱間鍛造における鍛造率が10%以上であるので、鍛造前の素材内部の微視的な欠陥を潰して素材を実用上有効に鍛錬する効果をj得ることができ。

【0066】また、更に、本願の第8の発明によれば、基本的には、上記第3～第7の発明のいずれかと同様の効果を奏することができる。特に、上記熱間鍛造で得られた鍛造部材に熱処理を施すようにしたので、高温

(150℃)での引張強度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態に係る射出成形装置の概略構成を示す部分断面説明図である。

【図2】 本発明の実施の形態に係る軽金属部材の定常クリープ歪速度に及ぼす固相率の影響を示すグラフである。

【図3】 上記軽金属部材の定常クリープ歪速度に及ぼす平均固相径の影響を示すグラフである。

【図4】 本発明の実施の形態に係るマグネシウム合金鍛造部材の定常クリープ速度に及ぼすカルシウム含有量の影響を示すグラフである。

【図5】 マグネシウム合金鍛造部材の定常クリープ速度に及ぼすアルミニウム含有量の影響を示すグラフである。

【図6】 マグネシウム合金鍛造部材の高温引張強度に及ぼすアルミニウム含有量の影響を示すグラフである。

【図7】 高速鍛造における割れ発生率に及ぼすCa/Al比の影響を示すグラフである。

【図8】 鍛造後の熱処理が高温引張強度に及ぼす影響を示すグラフである。

【図9】 限界据え込み率に及ぼす鍛造温度と鍛造前熱処理の影響を示すグラフである。

【図10】 鍛造後の比重に及ぼす鍛造率の影響を示すグラフである。

【図11】 室温での引張強度に及ぼす鍛造率の影響を示すグラフである。

【図12】 本発明の実施の形態に係るマグネシウム合金鍛造素材の斜視図である。

【図13】 上記マグネシウム合金鍛造素材の鍛造工程を模式的に示す説明図である。

【図14】 上記鍛造工程後のマグネシウム合金鍛造部材サンプルの説明図である。

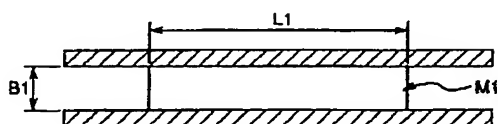
【図15】 本発明の実施の形態に係るマグネシウム合金製鍛造素材の限界据え込み率試験の初期状態を示す説明図である。

【図16】 上記限界据え込み率試験の鍛造時におけるマグネシウム合金製鍛造素材を模式的に示す説明図である。

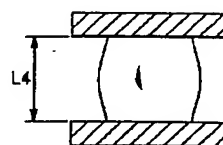
【符号の説明】

M1…軽金属部材

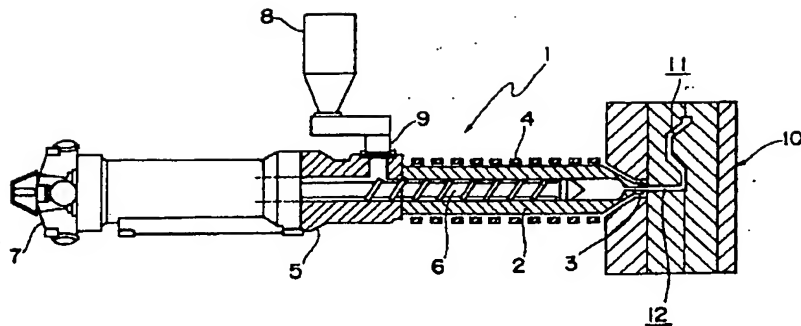
【図13】



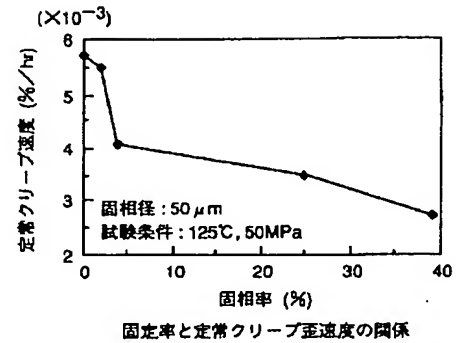
【図16】



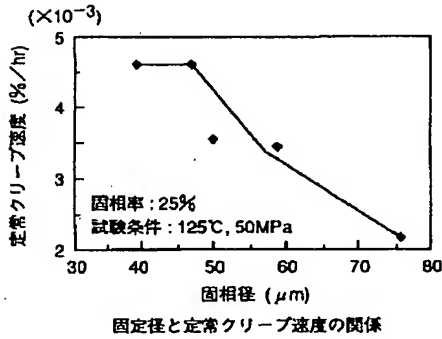
【図1】



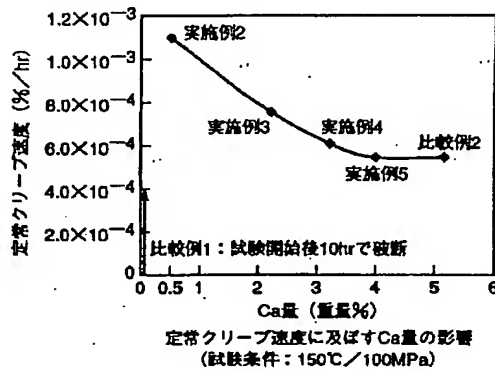
【図2】



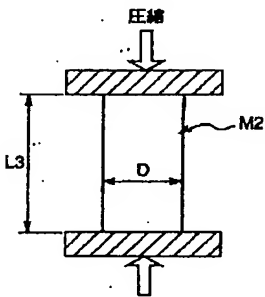
【図3】



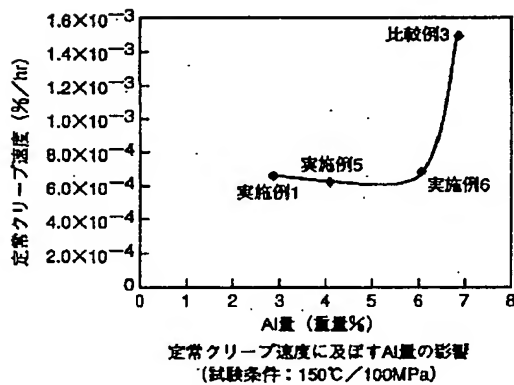
【図4】



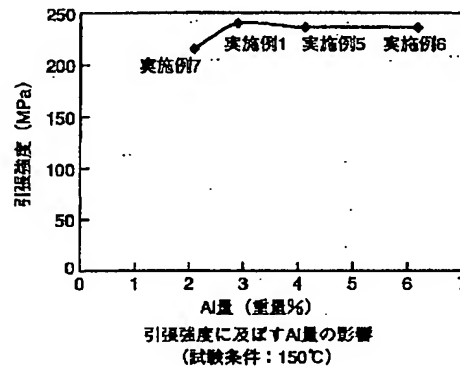
【図15】



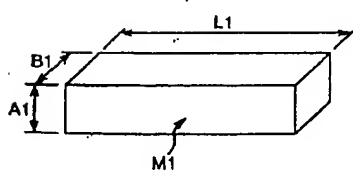
【図5】



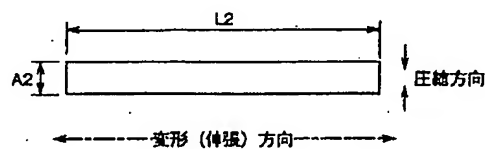
【図6】



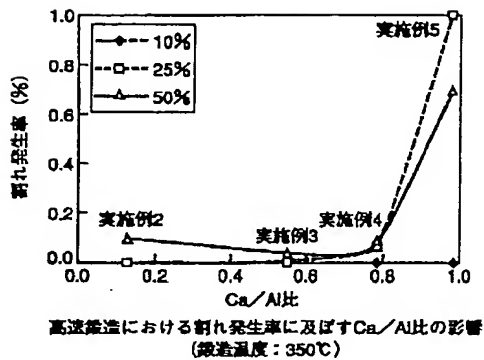
【図12】



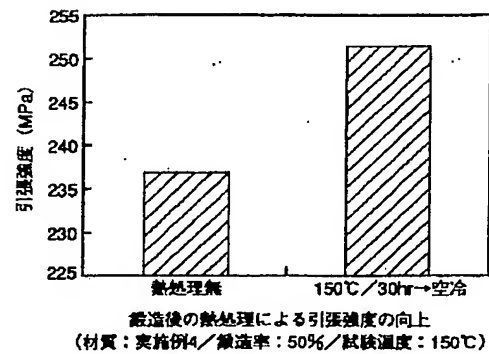
【図14】



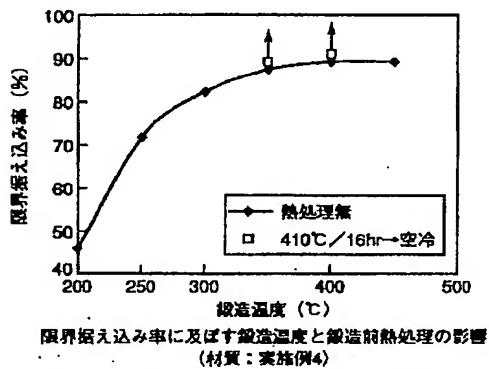
【図7】



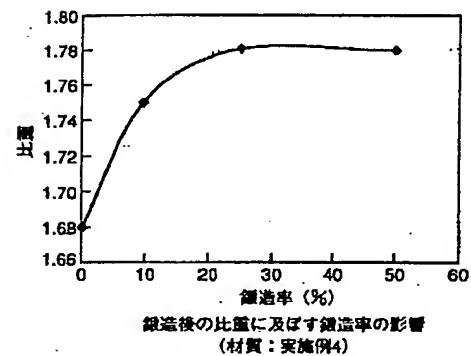
【図8】



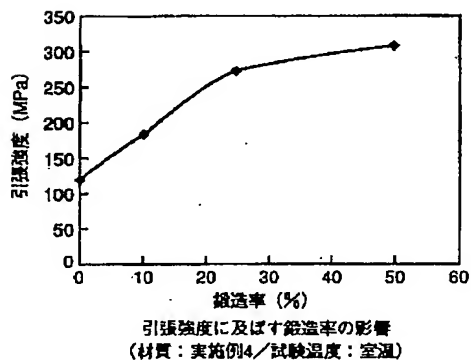
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

C 22 F 1/00

識別記号

6 0 1

6 8 4

6 9 1

F I

C 22 F 1/00

7-コード' (参考)

6 0 1

6 8 4

6 9 1 B

6 9 1 C

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(註 2) 100-280057 (P2000-@Ce57

F ターム(参考) 4E087 BA03 BA04 BA22 CA07 CA09  
CB01 CB04 CB11 CB12 DB11  
DB14 EB03 EB10 EC01 EC12  
EC50 EC54 EE02 HA67 HA82